



ÖREBRO
UNIVERSITET

Våg- och materiefysik för civilingenjörer

FY501G-0100

2019-03-20, kl. 08:15–13:15

Hjälpmedel: Skrivmateriel, lärobok¹ och miniräknare.

Betygskriterier: Skrivningens maxpoäng är 60. Samtliga deluppgifter kan ge 2 poäng och bedöms utifrån kriterier för *kunskap och förståelse; färdighet, förmåga och värderingsförmåga*; samt *skriftlig avrapportering*. För betyg 3/4/5 räcker det med 4 poäng inom vart och ett av områdena *vågrörelselära, elektromagnetism, kvantmekanik och materiens struktur* samt 30/40/50 poäng totalt. Detaljerna framgår av separat dokument publicerat på Blackboard.

Anvisningar: Motivera väl med sidhänvisningar och formelnummer från läroboken, redovisa alla väsentliga steg, rita tydliga figurer och svara med rätt enhet. Redovisa inte mer än en huvuduppgift per blad och lämna in i uppgiftsordning.

Skrivningsresultat: Meddelas inom 15 arbetsdagar.

Examinator: Magnus Ögren.

Lycka till!

1.

- a) En vanlig enhet för att diskutera elpriset i vardagliga sammanhang i Sverige är öre per kWh. I en kvartalsrapport för ett bolag på 'Stockholmsbörsen' står det: "Avslutningsvis vill jag framhålla att vi under fjärde kvartalet internt även gjort en ny så kallad LCOE-analys (Levelized Cost Of Energy) av PWR BLOK 400-F. Den bekräftar att kostnaden för att producera el med PWR BLOK är ca 20 EUR/MWh, vilket är en avsevärt mycket lägre produktionskostnad än andra energislag kan uppvisa enligt de erkända globala studier som har publicerats." Om vi antar växelkursen 1 EUR = 10kr = 1000 öre, vad blir då elpriset i öre per kWh för PWR BLOK 400-F?

En sträng som är fastsatt i båda ändarna har massan 2.00 g, vågutbredningsfart 120 m/s, och spännkraft 7.00 N.

- b) Vad är strängens längd?
- c) Vid vilken lägsta frekvens får strängen resonans?

¹ *Principles of Physics* 10.th ed. Halliday, Resnick, Walker

d) Motivera det alternativ A, B, C eller D (nedan) du väljer!

Två pulser sänds längs ett rep mot en fastsatt ände.
Repets utseende vid en viss tidpunkt ges av fig 1.

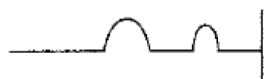
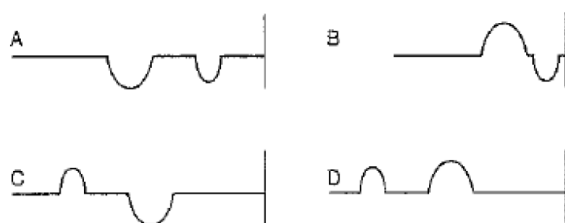


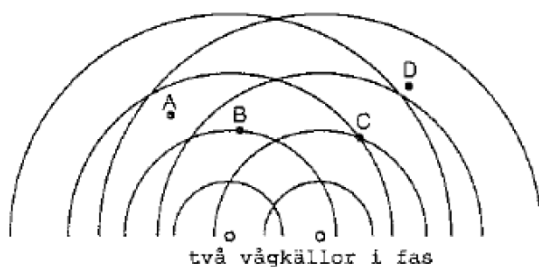
Fig 1.

Repets utseende vid en senare tidpunkt kan ges av:



e) Fyra svar förväntas nedan, du behöver inte motivera dem!

Figuren visar några vågfronter från två vågkällor i fas.
Ange korrekta alternativ.



A är en nodpunkt
 en maxpunkt
 ingendera

B är en nodpunkt
 en maxpunkt
 ingendera

C är en nodpunkt
 en maxpunkt
 ingendera

D är en nodpunkt
 en maxpunkt
 ingendera

2. En människa hör ljud bäst (grunden för den sk dBA skalan) om frekvenserna är av storleken $f = 2 \text{ kHz}$ till $f = 3 \text{ kHz}$.
- a) Örats hörselgång går in till trumhinnan och kan liknas vid en 3.5 cm lång pipa som är sluten i ena änden. Beräkna grundtonens frekvens vid en stående ljudvåg i hörselgången.

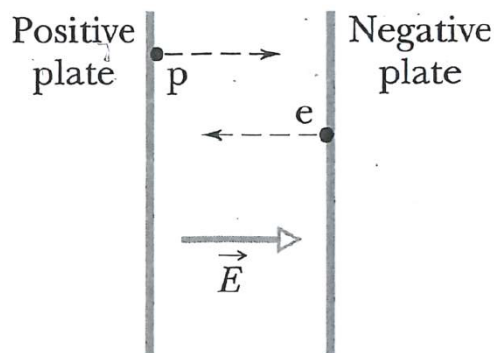
En punktformig ljudkälla har effekten $3.00 \mu\text{W}$.

- b) Vad är intensiteten 4.2 m från ljudkällan?
- c) Vad är ljudnivån i dB 4.2 m från ljudkällan?

En kyrkorgel har (bla) två olika typer av pipor som vi kallar A och B. Pipa A, som är öppen i bägge ändar, har en grundfrekvens (eng: *fundamental frequency*) på 425 Hz. För pipa B, som är öppen i en ände, gäller att frekvensen för den femte ordningens stående ljudvåg (eng: *fifth-harmonic*) är den samma som frekvensen för den andra ordningens stående ljudvåg (eng: *second-harmonic*) i pipa A.

- d) Hur lång är pipa A?
- e) Hur lång är pipa B?

3. Två olika elektriskt laddade plattor, som vi antar är oändligt stora, omsluter en proton (p) och en elektron (e) i ett homogent elektriskt fält \vec{E} . Avståndet mellan plattorna är 8.0 cm och spänningen mellan dem är 8.0 kV.



- a) Vilken kraft verkar på elektronen (storlek och riktning) om $\vec{E} = (1.0 \cdot 10^5, 0, 0) \text{ V/m}$?
- b) Vi tänker oss nu att en proton och en elektron 'släpps iväg' samtidigt från de olika plattorna, så som de är tecknade i figuren ovan. På vilket avstånd från den vänstra plattan är de båda partiklarna i det ögonblick då de möts? Bortse från att protonen och elektronen påverkar varandra.

- c) En elektrisk dipol med styrkan $p = 6.0 \cdot 10^{-30}$ Cm, tex en vattenmolekyl, befinner sig i det elektriska fältet mitt emellan plattorna. Hur mycket energi kostar det att vrida hela dipolen 180° från dess viloläge?

Nu kopplas även ett externt magnetfält \vec{B} , $B = |\vec{B}| = 1.0$ T på, riktat in i papperet vinkelrätt med \vec{E} .

- d) Vi tänker oss nu igen att en proton och en elektron 'släpps iväg' samtidigt från de olika plattorna, så som de är tecknade i figuren ovan. På vilket kvalitativt sätt skiljer sig nu deras rörelse från i **b)**? Kommentera tex om elektronen eller protonen rör sig uppåt eller nedåt.
- e) Enligt en välkänd formel för styrkan av ett homogent elektriskt fält mellan två laddade plattor gäller

$$E = \frac{U}{d}, \quad (1)$$

där U är spänningen mellan plattorna på avståndet d från varandra. Bevisa formel (1).

4. Figure 32-19 nedan visar en cirkulär region med radie $R=4.00$ cm, vilket illustrerar genomskärningen av en rak kabel.

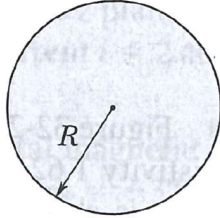


Figure 32-19

- a) Flödet av ett homogent elektrisk fält (eng. *uniform electric flux*) är riktat vinkelrätt ut från papperet och varierar med tiden t [s], så att det totala flödet genom det cirkulära området ges av

$$\Phi_E = 3.00 \cdot 10^{-3} t \text{ [Vm]}.$$

Vad är storleken av det magnetiska fältet som induceras på avståndet 2.00 cm från cirkelns centrum?

- b) Vad är storleken av det magnetiska fältet som induceras på avståndet 5.00 cm från cirkelns centrum?
- c) Vid vilket avstånd från cirkelns centrum har det magnetiska fältet maximal styrka?
- d) En homogen förskjutningsströmstäthet (eng. *uniform displacement-current density*) är riktat vinkelrätt ut från papperet och har styrkan

$$J_d = 6.00 \text{ [A/m}^2\text{]}.$$

Vad är storleken av det magnetiska fältet som induceras pga förskjutningsströmmen på avståndet 2.00 cm från cirkelns centrum?

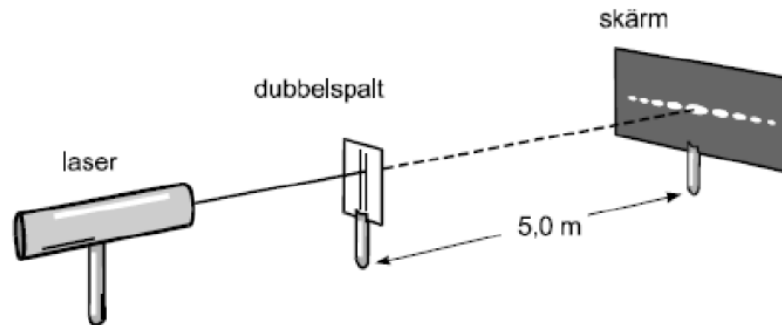
- e) En inhomogen förskjutningsströmstäthet (eng. *nonuniform displacement-current density*) är riktat vinkelrätt ut från papperet och har styrkan

$$J_d = 4.00 \left(1 - \frac{r}{R}\right) \text{ [A/m}^2\text{]},$$

där r är det radiella avståndet från cirkelns centrum ($r \leq R$). Vad är storleken av det magnetiska fältet som induceras pga förskjutningsströmmen på avståndet 2.00 cm från cirkelns centrum?

5. a)

Laserljus passerar en dubbelspalt med avståndet 0,10 mm mellan spaltöppningarna. På avståndet 5,00 m från spalterna fångar man på en skärm upp ett interferensmönster. Avståndet mellan centralbilden och första ordningens bild är 3,0 cm. Beräkna ljusets våglängd.

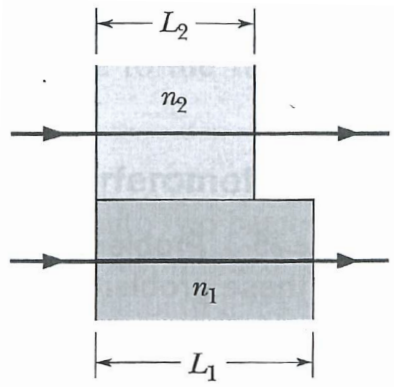


b)

Man kan med god approximation anta att stjärnorna (och solen) strålar som så kallade svarta kroppar. Fixstjärnan Sirius sänder ut strålning som har sin maximala intensitet vid våglängden 290 nm. Vilket värde på Sirius ytemperatur ger detta?

c) Monokromatiskt ljus med våglängden $0,55 \mu\text{m}$ träffar en metallyta från vilken elektroner lossnar om de tillförs 0,35 aJ energi, lossnar det några elektroner?

Två ljusstrålar med våglängden $\lambda = 600,0 \text{ nm}$ inkommer genom luft och är initialt i fas med varandra. De passerar sedan olika plastmaterial, se figuren nedan, där $L_1 = 4,00 \mu\text{m}$ och $L_2 = 3,50 \mu\text{m}$, samt brytningsindexen är $n_1 = 1,42$ och $n_2 = 1,60$.



d) Vilken multipel av den ursprungliga våglängden λ beskriver fasskillnaden efter att båda strålarna har kommit ut från plastmaterialen?

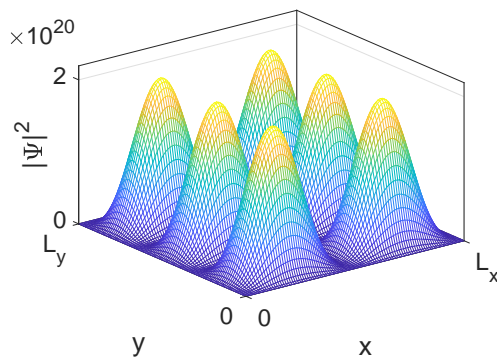
e) Om ljusstrålarna, med samma amplituder, senare når en gemensam punkt, kommer deras interferens då att vara konstruktiv, destruktiv, eller mittemellan?

6. En elektron är inspärrad i en väldigt djup brunn.

- a) För en speciell endimensionell brunn så är energin i grundtillståndet 1.0 eV. Visa att brunnens bredd då är 0.61 nm.
- b) Elektronen kan inte ligga stilla i brunnen. Elektronen har en ungefärlig rörelsemängd som är av samma storleksordning som dess osäkerhet $p \simeq \Delta p$. Använd osäkerhetsrelationen (eng: *uncertainty principle*) till att visa att energin och bredden som anges i a) är av rimlig storleksordning.

Vi betraktar nu istället en tvådimensionell brunn med dimensionerna $L_x = 1.0 \cdot 10^{-10}$ m och $L_y = 2L_x = 2.0 \cdot 10^{-10}$ m.

- c) Förklara varför två olika tillstånd, beskrivna med olika vågfunktioner, kan ha samma energi. Om du vill kan du förklara med hjälp av ett konkret exempel.
- d) Nedanstående vackra figur visar sannolikhetstätheten för en vågfunktion, $\Psi_{n_x, n_y}(x, y) = \frac{2}{\sqrt{L_x L_y}} \sin\left(\frac{n_x \pi}{L_x} x\right) \sin\left(\frac{n_y \pi}{L_y} y\right)$, till en elektron i den tvådimensionella brunnen.



Bestäm kvanttalen n_x och n_y .

En elektronvåg är inkommande mot en endimensionell energibarriär av höjden U_b och bredden L . Även om en inkommande elektrons rörelseenergi E är mindre än U_b finns det kvantmekaniskt en sannolikhet att elektronen tunnlar genom barriären.

- e) Beräkna transmissionskoefficienten (eng: *transmission coefficient*) för situationen, om $U_b = 1.5$ eV, $L = 0.10$ nm och $E = 1.0$ eV.